

PERENCANAAN STRUKTUR APARTEMEN ALAM INDAH TEMANGGUNG

Zainul Miftahuddin, Desiman Sihalohe, Himawan Indarto ^{*)}, Bambang Pardoyo ^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Perencanaan struktur gedung Apartemen Alam Indah ini didesain dengan mengacu pada SNI 2847-2013 dan SNI 1726-2012. Struktur gedung Apartemen Alam Indah ini termasuk Kriteria Desain Seismik tipe D dengan tingkat resiko kegempaan tinggi, sehingga dalam perencanaannya digunakan metode sistem rangka gedung dengan konfigurasi struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Perencanaan struktur gedung apartemen ini memiliki konfigurasi yang simetris, sehingga ketika terjadi gempa kemungkinan gedung untuk mengalami rotasi adalah mendekati nol. Hal ini disebabkan karena pusat kekakuan dan pusat massa berada dalam satu titik yang sama, sehingga tidak diperlukan dilatasi dan perhitungannya pun dapat ditinjau berdasarkan 2 dimensi dengan menggunakan bantuan software struktur. Pondasi yang digunakan pada struktur gedung ini adalah pondasi bore pile.

kata kunci : *Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Desain Kapasitas Respon Spektrum, SNI 2847-2013, SNI 1726-2012*

ABSTRACT

Structure design of Alam Indah Apartment designed with SNI 2847-2013 and SNI 1726-2012, Alam Indah Apartment building structures was included in Seismic Design Criteria Type D with high seismic risk level, so that the planning system used method with a Special Moment Resisting Frame System (Sway-special). The structure design of the apartment has a symmetrical shape configuration , so when an earthquake happens the possibility of buildings rotation is almost zero. it caused by the center of mass and the center of rigidity was located in a single point , so it is not necessary dilatation and calculations can be reviewed based on two dimensions with the help of structures software. The foundation that used in this building is a bore pile foundation.

keywords: *Spesial Moment Resisting Frame System (SMRFS), Capacity Design, Spectrum Respons, SNI 2847-2013, SNI 1726-2012*

PENDAHULUAN

Semakin banyaknya jumlah penduduk di Kota Temanggung, tingkat perekonomian juga meningkat termasuk kebutuhan hidup penduduknya. Salah satu hal yang mutlak dibutuhkan adalah tempat tinggal yang layak dan juga ekonomis, maka penting untuk

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

mendirikan beberapa hunian yang layak digunakan dengan harga yang relatif lebih murah dibandingkan perumahan yang harus membeli satu paket dengan tanah dan sertifikatnya. Maka dibangunlah sebuah apartemen ekonomis yang mampu memberikan solusi tersebut. Perencanaan struktur gedung dipandang penting untuk mempunyai ketahanan terhadap gempa walaupun letaknya di daerah dengan kondisi tanah sedang dan keras bukan tidak mungkin pengaruh gempa akan mencapai daerah ini. Selain itu untuk menghindari terjadinya korban jiwa karena runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat. Sebagian besar korban dan kerugian yang terjadi akibat gempa disebabkan oleh kerusakan dan kegagalan infrastruktur. Tata Cara Perhitungan Perencanaan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012) menetapkan suatu konsep Perencanaan Kapasitas (*Capacity Design*), dimana struktur gedung direncanakan mempunyai tingkat daktilitas yang cukup, sehingga struktur tetap berdiri walaupun berada dalam kondisi diambang keruntuhan.

TINJAUAN PUSTAKA

Gambaran Umum

Struktur gedung direncanakan mempunyai tingkat daktilitas yang cukup, sehingga struktur tetap berdiri walaupun berada dalam kondisi diambang keruntuhan. Kekuatan struktur gedung sangat terkait dengan keamanan dan ketahanan struktur dalam menahan atau menampung beban yang bekerja pada struktur tersebut, sedangkan derajat kekakuan struktur sangat bergantung pada jenis sistem struktur yang dipilih. Efisiensi suatu sistem struktur yang direncanakan bergantung pada jenis bahan yang digunakan. Sistem struktur yang dipilih harus menghasilkan kekakuan maksimum dengan massa bangunan yang seminimal mungkin, maka akan dihasilkan sistem struktur yang ringan namun kuat dalam menahan beban lateral yang bekerja pada struktur terutama beban lateral akibat gempa.

Data umum Proyek

Data umum dari perencanaan proyek ini sebagai berikut :

1. Nama proyek : Pembangunan Apartemen Alam Indah Temanggung
2. Lokasi bangunan : Temanggung, Jawa Tengah
3. Fungsi bangunan : Gedung Apartemen
4. Jumlah lantai : 5 lantai
5. Mutu beton (f_c) : 30 MPa
6. Mutu baja tulangan: 240 MPa (polos)
400 MPa (ulir)
7. Pondasi : *Bore pile*
8. Kondisi tanah : Tanah sedang dengan nilai N-SPT rata-rata sebesar 48

Perencanaan Pembebanan

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung ini, beban yang bekerja adalah sebagai berikut:

1. Beban mati (Dead Load)

Terdiri dari :

$$\text{Beban sendiri pelat (tebal = 12cm)} = 2.400 \times 0,12 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban penutup lantai + spesi (3cm)} = 24 + 63 = 87 \text{ kg/m}^2$$

Beban plafond + penggantung $= 11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2$

Beban dinding = 100 kg/m^2 untuk setiap tinggi 1 meter (bata ringan).

2. Beban hidup (Live Load)

Berdasarkan fungsi gedung apartemen, beban hidup yang terjadi diperhitungkan sebesar $q = 250 \text{ kg/m}^2$ untuk lantai 2-5 dan $q = 150 \text{ kg/m}^2$ untuk atap.

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan struktur, antara lain:

Kombinasi Pembebanan Tetap

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

Kombinasi Pembebanan Sementara

$$U = 1,2 D + 1 L + 1,0 (I_e/R) E_x + 0,3 (I_e/R) E_y$$

$$U = 1,2 D + 1 L + 0,3 (I_e/R) E_x + 1,0 (I_e/R) E_y$$

dimana :

D = Beban mati

L = Beban hidup

E_x, E_y = Beban gempa

I_e = Faktor keutamaan gempa (1)

R = Koefisien modifikasi respons (8)

METODE PERENCANAAN

Pengumpulan Data

Data teknis yang didapat untuk kepentingan proses Perencanaan Struktur Gedung Apartemen ini adalah sebagai berikut:

- Data tanah.
- Gambar rencana bangunan.

Analisa Dan Pembahasan

Tahapan perencanaan dan analisis perhitungan beserta acuannya dalam perencanaan struktur gedung apartemen adalah sebagai berikut:

- Perencanaan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
- Perencanaan Struktur Sekunder Bangunan.
- Perencanaan Balok Induk.
- Perencanaan Kolom.
- Perencanaan Hubungan Balok Kolom.
- Perencanaan Pondasi.

Literatur

Berikut adalah literatur yang digunakan dalam evaluasi ini yaitu :

- Tata Cara Perhitungan Perencanaan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012).
- Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013).
- Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

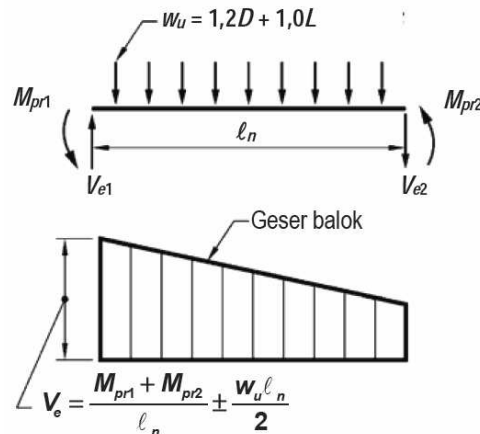
Langkah untuk menentukan konfigurasi sistem rangka pemikul momen diawali dengan menentukan kategori resiko struktur gedung terhadap pengaruh gempa. Acuan dari langkah ini adalah fungsi bangunan gedung itu sendiri seperti halnya gedung apartemen yang berkategori resiko II. Langkah berikutnya adalah menentukan faktor keutamaan gempa dari struktur gedung, yakni dengan merujuk pada SNI 1726-2012 halaman 15 Tabel 2 yang menyatakan bahwa struktur gedung yang berkategori resiko II memiliki faktor keutamaan gempa (I_e) yang bernilai 1. Langkah selanjutnya adalah menentukan kategori desain seismic gedung dilihat dari nilai SD_S dan SD_1 berdasarkan wilayah zonasi gempa. Dari perhitungan sebelumnya didapatkan nilai $SD_S = 0,566g$ dan $SD_1 = 0,343g$. Merujuk pada SNI 1726-2012 tabel 6 dan 7 menyatakan bahwa nilai $SD_S > 0,5g$ dan $SD_1 > 0,2g$ berkategori desain seismic D. Dari SNI gempa 2012 pasal 7.2.5.5 yang menyatakan bahwa struktur gedung dengan kategori desain seismic D, E dan F menggunakan konfigurasi sistem rangka pemikul momen khusus.

Perencanaan Struktur Sekunder Bangunan

Perencanaan struktur sekunder bangunan meliputi tangga, pelat lantai & balok anak. Perencanaan tangga meliputi perencanaan dimensi tangga, *antrede* dan *optrade* berdasarkan tinggi tiap lantai dan area luasan dalam perencanaan tangga. Dalam perencanaan tangga diperhitungkan penulangan pelat tangga, pelat bordes, dan balok tangga. Pengelompokan pelat berdasarkan ukuran pelat yang dibatasi oleh tiap balok, baik balok anak maupun balok.

Perencanaan Balok Induk

Pada perencanaan balok induk, dimensi tinggi balok induk direncanakan dengan $h = (1/10 - 1/15) L$ dan lebar balok induk diambil $b = (1/2 - 2/3) h$. Balok harus memikul beban gempa dengan perencanaan lentur momen ultimit (M_u) \leq momen nominal (M_n) pada daerah tumpuan dan lapangan balok. Kuat lentur maksimum (M_{pr}) pada daerah sendi plastis dihitung berdasarkan tulangan terpasang dengan tegangan tarik baja $f_s = 1,25 f_y$ dan faktor reduksi 1,0 dan tidak boleh lebih kecil dari gaya geser berdasarkan analisis struktur.



Gambar 1. Probable Moment Balok Menahan Gempa ke Kiri dan Kanan

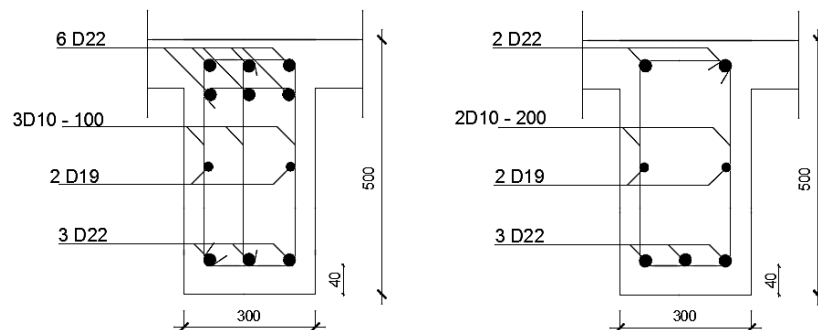
Gaya geser rencana balok direncanakan berdasarkan kuat lentur maksimum balok (M_{pr}) yang terjadi pada daerah sendi plastis balok yaitu pada penampang kritis dengan jarak $2h$ dari tepi balok. Gaya geser rencana pada muka tumpuan dihitung sebagai berikut:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ell_n} + \frac{W_u \cdot \ell_n}{2} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- V_e : Gaya geser akibat sendi plastis di ujung – ujung balok (kN).
 M_{pr} : Kekuatan lentur mungkin komponen struktur (kNm).
 W_u : Gaya geser terfaktor (kN).
 ℓ_n : Panjang bentang bersih (m).

Dari hasil perhitungan, didapatkan diameter tulangan utama D22, diameter tulangan sengkang D10 dan diameter tulangan torsi D13.



Gambar 2. Penulangan balok induk pada tumpuan (kiri) dan lapangan (kanan)

Perencanaan Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6 dijelaskan bahwa untuk komponen-komponen struktur pada perhitungan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang memikul gaya akibat beban gempa dan menerima beban aksial terfaktor yang lebih besar dari $0,1.A_g.f'_c$, maka komponen elemen struktur tersebut harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

1. Gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada kolom melebihi $0,1.A_g.f'_c$.
2. Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm.
3. Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

Kolom dirancang lebih kuat dibandingkan balok (*strong column weak beam*) Kolom ditinjau terhadap portal bergoyang atau tidak bergoyang, serta ditinjau terhadap kelangsingan. Kuat lentur kolom dihitung berdasarkan desain kapasitas *strong column weak beam* yaitu sebagai berikut.

$$\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2)$$

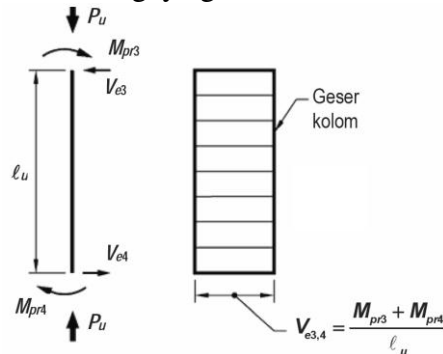
dimana :

$\sum M_{nc}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

ΣM_{nb} = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

Kuat geser kolom SRPMK terjadi sendi-sendi plastis terjadi pada ujung balok-balok yang bertemu pada kolom tersebut.

Pada perencanaan kolom, gaya geser didapat dengan menjumlahkan M_{pr} kolom atas dengan M_{pr} kolom bawah dibagi dengan tinggi bersih kolom. Gaya geser tidak perlu diambil lebih besar gaya geser rencana dari kuat hubungan balok kolom berdasarkan M_{pr} balok, dan tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur.



Gambar 3. Gaya Geser Rencana Kolom SRPMK.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.4.5(1), Kuat gaya geser rencana V_e ditentukan dari kuat momen maksimum, M_{pr} dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu di Hubungan Balok Kolom yang bersangkutan. Namun pasal tersebut juga dibatasi bahwa V_e tidak perlu lebih besar dari gaya geser rencana yang ditentukan dari kuat Hubungan Balok-Kolom berdasarkan M_{pr} balok-balok melintang dan tidak boleh diambil kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur. Gaya geser rencana dari kolom adalah sebagai berikut :

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{\ell_u} \dots\dots\dots (3)$$

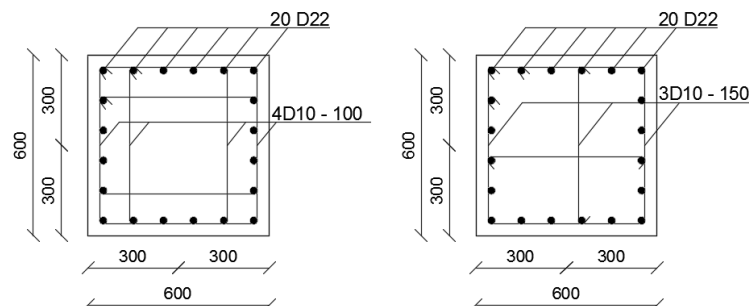
dimana:

V_e : Gaya geser akibat sendi plastis di ujung – ujung balok (kN).

M_{pr} : Kekuatan lentur mungkin komponen struktur (kNm).

ℓ_u : Panjang bentang bersih (m).

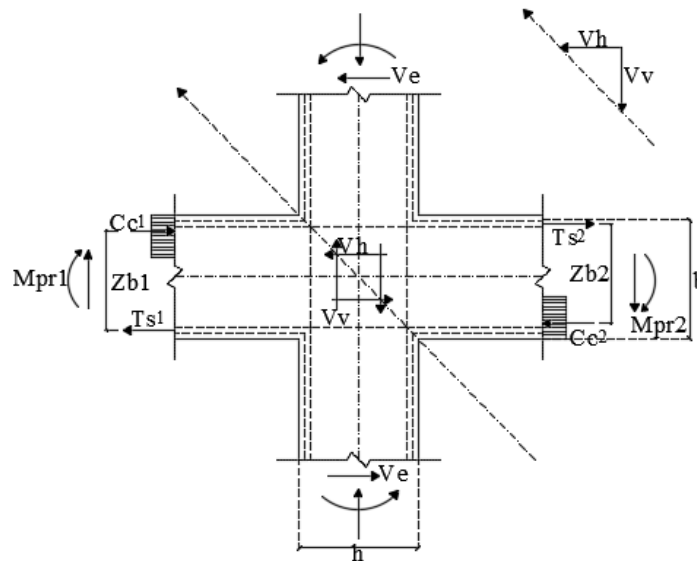
Dari hasil perhitungan, didapatkan diameter tulangan utama D22 dan diameter tulangan sengkang D10.



Gambar 4. Penulangan kolom pada tumpuan (kiri) dan lapangan (kanan).

Perencanaan Hubungan Balok Kolom

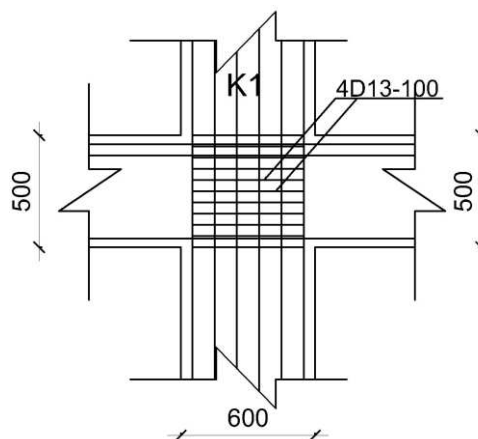
Hubungan balok–kolom (HBK) atau *beam–column joint* mempunyai peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu struktur gedung bertingkat tinggi dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Hal ini dikarenakan joint yang menghubungkan balok dengan kolom akan sangat sering menerima gaya yang dihasilkan oleh balok dan kolom secara bersamaan. Hal ini dapat mengakibatkan joint yang mempertemukan balok dan kolom menjadi tidak kuat dan cepat runtuh. Maka dari itu diperlukan tulangan pengekang untuk mampu menerima dan menyalurkan gaya-gaya yang dihasilkan oleh balok dan kolom. Sehingga konsep SRPMK dapat dipenuhi. Dapat kita lihat free body gayanya seperti pada gambar dibawah :



Gambar 5. Gaya – gaya yang bekerja pada hubungan balok-kolom

Dirancang tulangan 4 *leg* D13 ($A_{st} = 530,67 \text{ mm}^2$), dengan spasi minimum (s) tulangan adalah 100 mm.

Detail penulangan pengekang yang terpasang pada hubungan balok-kolom dapat dilihat pada Gambar di bawah ini :



Gambar 6. Detail Tulangan Pengekang pada Hubungan Balok-Kolom

Perencanaan Pondasi

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perencanaan pondasi, antara lain:

Kombinasi Pembebanan Tetap

$$U = 1 \text{ D}$$

$$U = 1 \text{ D} + 1 \text{ L}$$

Kombinasi Pembebanan Sementara

$$U = 1 \text{ D} + 1 \text{ L} + 1,0 (I_e/R) E_x + 0,3 (I_e/R) E_y$$

$$U = 1 \text{ D} + 1 \text{ L} + 0,3 (I_e/R) E_x + 1,0 (I_e/R) E_y$$

Pondasi pada struktur gedung ini direncanakan menggunakan pondasi *bore pile*. Latar belakang pemilihan tipe pondasi tersebut adalah berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi perencanaan, yang menyatakan bahwa untuk bangunan gedung dengan beban berat (gedung bertingkat 5 atau lebih) disarankan menggunakan pondasi dalam (*deep foundation*) seperti pondasi *bore pile*. Adapun spesifikasi dari pondasinya sebagai berikut :

$$\text{Diameter (D)} = 600 \text{ mm} \sim 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A}_b\text{)} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 60^2 = 2826 \text{ cm}^2 \sim 0,2826 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas selimut (A}_s\text{)} = \frac{1}{4} \times \pi \times D \times H = \frac{1}{4} \times \pi \times 600 \times 8000 = 15072000 \text{ mm}^2 \sim 15,072 \text{ m}^2$$

$$\text{Keliling Pile} = 3,14 \times 0,6 = 1,884 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (H)} = 8 \text{ m}$$

$$f'c \text{ pile cap} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f'c \text{ tiang} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

Untuk daya dukung tanah yang digunakan adalah dengan nilai terkecil. Tepatnya dengan menggunakan metode Aoki dan Alencar. Metode yang kita hitung dapat dilihat dari rumus sebagai berikut :

Daya dukung *ultimate* pondasi *bore pile* dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{all} = (Q_b + Q_s) / SF \dots\dots\dots (4)$$

Dan untuk menghitung kapasitas daya dukung ujung tiang adalah :

$$Q_b = (q_b \times A_p) \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

Q_b = Kapasitas daya dukung ujung tiang.

Q_s = Tahanan kulit *bore pile* (Friksi).

SF = *Safety factor* / faktor keamanan.

q_b = Tahanan ujung sondir.

A_p = Luas penampang tiang.

Aoki dan Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data Sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut :

$$q_b = q_{ca} / F_b \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

q_{ca} = Tahanan conus rata-rata di ujung tiang.

F_b = Faktor empirik pada (dapat dilihat pada tabel di bawah).

Tabel 1 Faktor Empirik Fb dan Fs (Titi & Farsakh, 1999)

Tipe Tiang Pancang	Fb	Fs
Tiang Bor	3,50	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

Tahanan kulit / Friksi (Q_s) diprediksi sebagai berikut :

$$Q_s = q_c (\text{side}) \times (a_s / F_s) \times A_s \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

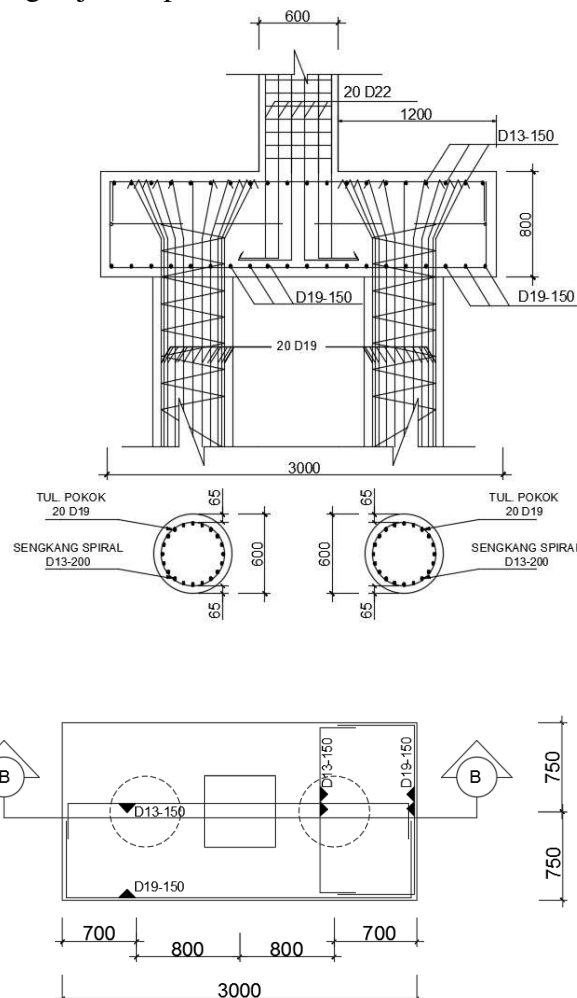
$q_c (\text{side})$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang. (t/m^2)

F_s = Faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tanah. (Tabel 1)

a_s = Nilai faktor empirik.

A_s = Luas selimut *bore pile*.

Berdasarkan perhitungan perhitungan diatas, diperoleh nilai Q_{all} sebesar 119,085 ton. Dari hasil perhitungan penulangan *bore pile*, didapatkan diameter tulangan utama D19, diameter tulangan sengkang spiral D13. Dari perhitungan *pile cap* diperoleh diameter tulangan utama D13 dan D19 dengan jarak spasi sebesar 150 mm.

Gambar 7. Detail penulangan pondasi *bore pile* dan potongannya.

KESIMPULAN

Hasil perencanaan struktur gedung Apartemen Alam Indah Temanggung yang telah dibahas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perencanaan suatu struktur bangunan yang kuat, aman, dan ekonomis harus didasarkan pada kaidah - kaidah perencanaan struktur yang saat ini berlaku.
2. Gempa merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur gedung. Di mana suatu struktur gedung didesain berdasarkan daerah zonasi gempa wilayah dan fungsi bangunan tersebut.
3. Perencanaan struktur ini didesain menggunakan Sistem Rangka Gedung dengan menggunakan konfigurasi kerutuhan struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Di mana Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dirancang dengan menggunakan konsep Strong Column Weak Beam, di mana kolom dirancang sedemikian rupa agar struktur dapat berespon terhadap beban gempa dengan mengembangkan mekanisme sendi plastis pada balok-baloknya dan pada dasar kolom
4. Konsep desain kapasitas yang direncanakan membuat struktur memiliki perilaku daktail, sehingga penampang balok dan kolom dalam menahan momen dan geser sesuai yang direncanakan. Selain itu memungkinkan untuk melakukan deformasi yang besar untuk mengakomodir gaya gempa yang terjadi.

SARAN

Dalam merencanakan struktur gedung yang berada di wilayah yang terdapat intensitas gempa, sebaiknya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan konsep Desain Kapasitas, karena dengan menggunakan metode perencanaan ini diharapkan sendi plastis dapat terbentuk di balok, sehingga apabila terjadi gempa yang kuat struktur masih bisa berdiri (tidak terjadi keruntuhan) dan kemungkinan jatuhnya korban jiwa masih bisa dihindari.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726-2012, BSN, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*, SNI 1727-2013, BSN, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847-2013, BSN, Jakarta.
- Dewobroto Wiryanto, 2007. *Aplikasi Rekayasa Kontruksi dengan SAP2000*. Penerbit Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Kusuma, G, & Andriono, T, 1993. *Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa*. Erlangga, Jakarta.
- Pamungkas, Anugrah. & Harianti, Erny, 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*, CV Andi Offset, Yogyakarta.
- Sosrodarsono, Suyono, & Nakazawa, Kazuto, 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.